



DECKBLATT

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
EU 347	9K	33223	---	GHR	KR	0001	00

Titel der Unterlage: Vollversatz in Einlagerungskammern - Laborphase II. (Versatzeigenschaften)	Seite:
	I.
	Stand:
	07.02.1990

Ersteller:	Textnummer:
Preussag AG Metall	

Stempelfeld:

PSP-Element TP.9K/.2:1 2421	zu Plan-Kapitel: 3.2.5.6.1
	  26/03/90
	Freigabe für Behörden Freigabe im Projekt

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung.

Revisionsblatt

BfS

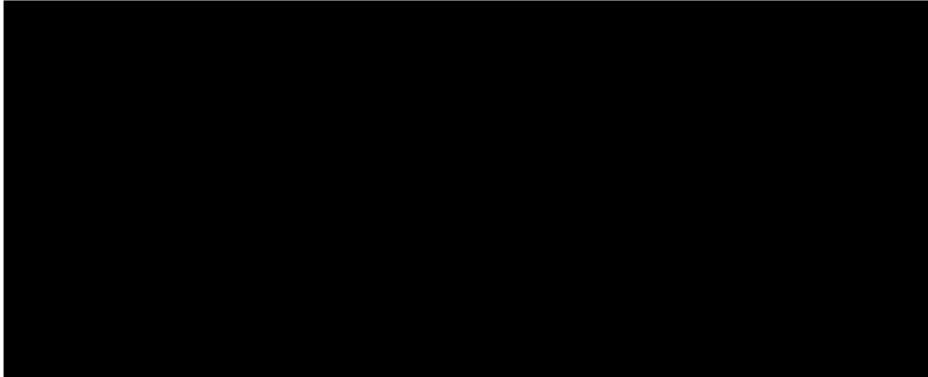
EU 347	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K	33223	---	GHR	KR	0001	00

Titel der Unterlage: <p style="text-align: center; margin: 0;">Vollversatz in Einlagerungskammern - Laborphase II. (Versatzeigenschaften)</p>	Seite: <p style="text-align: center; margin: 0;">II.</p>
Stand: <p style="text-align: right; margin: 0;">07.02.1190</p>	

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
 Kategorie S = substantielle Änderung
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

P R E U S S A G A G M E T A L L



Bericht 'Vollversatz in Einlagerungskammern -Laborphase II (Versatzeigenschaften)' wurde im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) erstellt. Das BfS behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit der Zustimmung des BfS zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. zugänglich gemacht werden.



Goslar, 07.02.1990

PREUSSAG AG METALL - BERGBAUBERATUNG

PTB/KONRAD - VOLLVERSATZ VON EINLAGERUNGSKAMMERN

	Seite
1. Einleitung	4
2. Untersuchungen an Versatzproben unterschiedlicher Rezepturen	6
2. 1 Probenvorbereitung und Probenherstellung	7
2. 2 Mineralogische Zusammensetzung des Konrad-Haufwerks	8
2. 3 Konsistenzbestimmung an Versatzmischungen	9
2. 4 Rheologische Untersuchungen an Erz-Suspensionen mit Zement unter Verwendung Konrad-Grubenwässern	10
2. 5 Wasserbindevermögen von Versatzmischungen	12
2. 6 Quell- und Schwindverhalten	16
2. 7 Hydrationswärmeentwicklung	17
2. 8 Wärmekapazität an ausgehärtetem Konrad-Versatzmaterial	19
2. 9 Biegezugfestigkeit	20
2.10 Druckfestigkeit	20
2.11 Porosität	21
2.12 Gaspermeabilität	22
3. Zusammenfassung	23
Anhang (Tabellen, Abbildungen)	27

PREUSSAG AG METALL - BERGBAUBERATUNG

PTB/KONRAD - VOLLVERSATZ VON EINLAGERUNGSKAMMERN

- Tabelle 1 Rezepturen und Mischungsverhältnisse der Probe-
körper
- Tabelle 2 Mineralogische Zusammensetzung von Konrad-Erz
und Nebengestein
- Tabelle 3 Ausbreitmaß bei verschiedenen Mischungsver-
hältnissen
- Tabelle 4 Rheologische Daten von Erz-Zement-Suspensionen
mit unterschiedlichen Wässern
- Tabelle 5 Gewichtsverlust beim Trocknen von Mischungen im
geschlossenen und offenen System
- Tabelle 6 Quellverhalten von Versatz aus verschiedenen
Mischungsverhältnissen
- Tabelle 7 Biegezugfestigkeit von Versatz aus verschiedenen
Mischungsverhältnissen
- Tabelle 8 Druckfestigkeit von Versatz aus verschiedenen
Mischungsverhältnissen
- Tabelle 9 Porosität und Porenradien von Versatz aus
verschiedenen Mischungsverhältnissen
- Tabelle 10 Gaspermeabilität von Versatz aus verschiedenen
Mischungsverhältnissen

- Abbildung 1 Austreibbare flüchtige Bestandteile aus
Versatzgutmischungen
- Abbildung 2 Temperaturverlauf und Summenkurve der massen-
bezogenen Wärmemenge einer über 7 Tage ab-
bindenden Versatzgutmischung
- Abbildung 3 Massenbezogener Wärmemengenverlauf mit positiver
und negativer Summenkurve einer über 7 Tage ab-
bindenden Versatzgutmischung

1. Einleitung

Das Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter (BfS), plant auf der Schachanlage Konrad die Errichtung eines Endlager-Bergwerks zur Einlagerung von radioaktiven Abfällen. Die Abfallprodukte sollen in Form von Containern und Rundbehältern unterschiedlicher Abmessungen verpackt und nicht rückholbar in streckenartigen Kammern eingelagert werden. Der Kammerquerschnitt wird bei einer Sohlenbreite von 7 m und einer Firsthöhe von 6 m etwa 40 m² betragen. Kammerlängen von bis zu 1000 m sind geplant.

Die einzulagernden Gebinde sollen vom Schacht über Einlagerungstransportstrecken und Kammerzufahrten mit Transportfahrzeugen angeliefert werden. Einlagerungsstapelfahrzeuge übernehmen den Transport zum Einlagerungsort in der Kammer und das Aufstapeln der Gebinde. Das Stapelmuster ist bei gegebener Kammergeometrie und den Gebindetypen abhängig und durch die Bauweise der Einlagerungstapelfahrzeuge festgelegt. Das bestehende Einlagerungskonzept sieht vor, die durch die Stapeltechnik entstehenden Resthohlräume an der Firste und an den Stößen nach Beendigung einer Einlagerungskampagne mit Schleuderversatz als Teilversatz zu verfüllen. Die Kammerabschnitte sind für diese Technik auf eine Länge von maximal 9 m begrenzt.

Vor allem durch Innen- und Außenkorrosion kann bei einem Teil der Abfälle Wasserstoffgas entstehen und sich in den Resthohlräumen einer Einlagerungskammer anreichern. Bei Vorhandensein von Luftsauerstoff kann bei höheren Wasserstoffbildungsraten ein zündfähiges Knallgasgemisch entstehen. Um diesem Gefährdungspotential für die während der Betriebsphase offenen Grubenräume entgegen zu wirken, wird

ein basischer, korrosionshemmender Vollversatz in den Einlagerungskammern in Betracht gezogen, durch den die Bildung des Wasserstoffgases verringert und die Ansammlung des Gases durch Resthohlraumreduzierung gering gehalten wird. Die Preussag AG Metall wurde damit beauftragt, in einer Studie den von ihr auf der Grundlage der Dickstoffförderung entwickelten Pumpversatz an die spezifischen Erfordernisse des geplanten Endlagers Konrad anzupassen und in Laboruntersuchungen geeignete Pumpversatzrezepturen zu entwickeln.

In einer Laborphase 1 (Fördertechnik), Bericht PM/BBB vom 26.07.1989, wurden Versatzrezepturen aus Konrad-Haufwerk hinsichtlich ihrer fördertechnischen Eigenschaften untersucht und für die Dickstoffförderung geeignete Rezepturen gefunden. Diese Rezepturen wurden in einer Laborphase 2 auf ihre sonstigen Eigenschaften hin untersucht, um sicherzustellen, daß sie den Qualitätsanforderungen, die an einen bindemittelverfestigten Vollversatz auf Konrad während und nach dem Abbinden gestellt werden, entsprechen. Der Versatz sollte folgenden Anforderungen entsprechen:

- Die Konsistenz soll so beschaffen sein, daß ein störungsfreies Fördern bei sehr guter Fließfähigkeit gewährleistet ist.
- Der abbindende wie der abgebundene Versatz soll kein Wasser freisetzen
- Der Versatz soll formstabil sein, ein Quellen des Versatzes ist erwünscht
- Die Hydratationswärmeentwicklung soll so gering wie möglich sein
- Die Permeabilität des Versatzes soll möglichst niedrig sein

2. Untersuchungen an Versatzproben unterschiedlicher Rezepturen

Die Untersuchungen an den abbindenden und an den verfestigten Versatzproben unterschiedlicher Rezepturen wurden in den Labors der Preussag AG Metall (im Folgenden Labor A genannt), im Institut für angewandte Geologie, Geotechnik und Umweltschutz der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Bochum (im Folgenden Labor B genannt) sowie der Amtlichen Materialprüfanstalt für Steine und Erden Clausthal-Zellerfeld (im Folgenden Labor C genannt) durchgeführt.

Im einzelnen wurden untersucht:

- Mineralogische Zusammensetzung (Labor A und C)
- Konsistenz (Labor C)
- Sumpfwassereinfluß (Labor A)
- Wasserbindevermögen (Labor A und C)
- Schwind- bzw. Quellverhalten (Labor B und C)
- Hydratationswärme (Labor A)
- Wärmekapazität (Labor A)
- Biegezug- und Druckfestigkeit (Labor B und C)
- Porosität (Labor B)
- Gaspermeabilität (Labor B und C)

2.1 Probenvorbereitung und Probenherstellung

Der Preussag AG Metall wurden von der Schachtanlage Konrad bergfeucht 1655 kg Erz und 1315 kg Nebengestein in jeweils zwei 400 l Fässern angeliefert.

Je ein Faß wurde mittels eines Backenbrechers mit einer Spaltweite von 10 mm zerkleinert. Dem Brecher war ein 5 mm-Trommelsieb nachgeschaltet, um die nach dem Brechen noch verbleibende Fraktion größer 5 mm, die für die Pumpversatzrezepturen nicht eingesetzt wurde, abzutrennen. Das gebrochene und klassierte Material kleiner 5 mm wurde gemischt, luftgetrocknet und mit einem Riffelteiler auf 800 g Proben geteilt.

Die Restfeuchtebestimmung erfolgte durch Trocknung je einer Teilprobe bei 110°C im Trockenschrank. Die Restfeuchte betrug beim Erz 3 Gew.-%, beim Nebengestein 4 Gew.-%. Für die Untersuchungen des Labors B wurde das gesamte Probenmaterial bei 110°C getrocknet. Im Labor A und C wurde die Restfeuchte bei der Rezepturherstellung berücksichtigt.

Die Hauptkomponente der für die Untersuchungen herzustellenden Proben war Erz, Nebengestein oder eine Mischung aus beiden. Ein Hochofenzement der Spezifikation HOZ 35L-NW-HS-NA wurde als Bindemittel eingesetzt. Als Anmachwasser fand sowohl Leitungswasser als auch "Salzwasser" oder salinares Wasser (Hilswasser), das von der Grube Konrad zur Verfügung gestellt wurde, Anwendung. Beide Wässer erhielten als beigemischtetes Zusatzmittel einen Abbindeverzögerer vom Typ VZ 5 der Firma Addiment.

In Laborphase 1 (Fördertechnik) hat sich herausgestellt, daß

Versatzrezepturen aus Erz, Nebengestein oder Mischungen aus beiden mit einem Wassergehalt (Wasser einschließlich Verzögerer) von 19 Gew.-%, einem Wasser-Zement-Wert (WZW) von 2 und 2 Gew.-% Verzögerer (bezogen auf die Zementmasse) aus förder technischer Sicht für den Pumpversatz am geeignetsten sind. Diese Rezepturen waren Grundlage der Untersuchungen der Laborphase 2. Sie sind in Tabelle 1 im Anhang zusammengefaßt.

Um Verdunstung zu vermeiden wurden im Labor C die Proben im Klimaschrank bei 40°C und 95% relativer Luftfeuchtigkeit bis zu den Untersuchungen aufbewahrt. Im Labor B wurden sie mit einer Glasplatte abgedeckt und bei 40°C drei Tage gelagert. Nach dem Ausschalen wurden sie in wasserundurchlässige Kunststoffolie eingeschweißt und im Wasserbad bei 40°C bis zur Prüfung gelagert.

2.2. Mineralogische Zusammensetzung des Konrad-Haufwerks

Am Konrad-Erz und -Nebengestein wurde die mineralogische Zusammensetzung bestimmt.

Die quantitative Zusammensetzung wurde im Labor A in zwei Schritten ermittelt. An beiden Proben wurde eine Röntgenbeugungsanalyse zur qualitativen Bestimmung der Mineralphasen und eine chemische Analyse zur quantitativen Elementbestimmung durchgeführt. Anhand der qualitativen Phasenanalysen und der quantitativen chemischen Analysen ist die mineralogische Zusammensetzungen quantitativ bestimmbar. Bei den Karbonaten handelt es sich hauptsächlich um Calcit und um Spuren von Mangan- und Magnesiumverbindungen (Mn+Mg<1%). Als Tonmineral wurde Kaolinit identifiziert.

Die Eisenverbindungen sind Oxide und Hydroxide und liegen in überwiegender Form als Limonit (Typ Goethit), untergeordnet als Hämatit, vor.

Im Labor C wurde eine qualitative Röntgenbeugungsanalyse vom Erz und Nebengestein durchgeführt. Die Bewertungsskala umfaßt den Bereich von "sehr, sehr stark" ("+++") bis "sehr, sehr schwach" ("---").

Für das Erz ergab sich ein sehr schwacher Quarz-, Kaolinit/Hämatitanteil (die Peaks sind nicht eindeutig zu trennen), ein schwacher Calcit- und ein starker Goethitanteil. Beim Nebengestein ist der Calcitanteil sehr, sehr stark, Quarz, Kaolinit und Goethit sind sehr, sehr schwach vertreten. Spuren von Gips wurden identifiziert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 im Anhang zusammengefaßt.

2.3 Konsistenzbestimmung an Versatzmischungen

Die Konsistenzbestimmungen zeigen, daß die Konsistenz der Mischungen unabhängig vom Mischungsverhältnis Erz zu Nebengestein ist. Somit bestätigen sich die Ergebnisse der Viskositätsuntersuchungen während der Laborphase 1 (Förder-technik).

Für die Konsistenzbestimmung wurde das Ausbreitmaß der Mischung herangezogen. Im Labor B wurde das Ausbreitmaß in Anlehnung an DIN 1048 Teil 1 (Konsistenzprüfung für Beton), im Labor C in Anlehnung an DIN 18555 Teil 2 (Konsistenzprüfung für Mörtel) auf dem Ausbreittisch gemäß DIN 1060 Teil 3 ermittelt. In der Betonindustrie gelten für plastischen Beton der Konsistenzklasse K2 Ausbreitmaße bis

40 cm, für weichen Beton der Konsistenzklasse K3 Ausbreitmaße von 41 bis 50 cm und für Fließbeton Ausbreitmaße von 51 bis 60 cm. Die Ausbreitmaße der Versatzmischungen sind in Tabelle 3 im Anhang zusammengefaßt.

2.4 Rheologische Untersuchungen an Erz-Suspensionen mit Zement unter Verwendung von Konrad-Grubenwässern

Zusätzlich zu den in Laborphase 1 (Fördertechnik) durchgeführten rheologischen Untersuchungen wurde an Erz-Suspensionen mit Zement (WZW = 2, VZ 5 = 2 %, Wassergehalt = 31 Gew.-%) der Einfluß eines zweiten Konrad-Grubenwassers auf die Viskosität untersucht.

Bei dem in Laborphase 1 eingesetzten Wasser handelt es sich um ein Hilswasser, das für nahezu alle fließtechnischen Untersuchungen verwendet wurde. Das hier zusätzlich untersuchte Wasser ist ein stark salzhaltiges Sumpfwasser. Als Referenzwasser diente Leitungswasser.

Das Hilswasser hat eine Dichte von $1,04 \text{ g/cm}^3$ und einen pH-Wert von 7,12. Nach dem Eindampfen bleibt ein Rückstand von 72,4 g/l. Die Dichte des Sumpfwassers beträgt $1,12 \text{ g/cm}^3$, der pH-Wert 6,58 und der Abdampfrückstand 194,1 g/l.

Ein Einfluß auf die rheologischen Eigenschaften von Erz-Zement-Suspensionen bei Verwendung von Hilswasser anstelle von Leitungswasser wurde nicht festgestellt. Viskosität, Fließgrenze und spezifischer Druckbedarf der Referenzsuspension und der mit Hilswasser angemachten sind, im Rahmen der Meßgenauigkeit des Viskosimeters, gleich. Die Verwendung des Sumpfwassers hingegen hatte einen deutlichen Anstieg aller rheologischen Daten zur Folge. Die dynamische

Viskosität stieg um 54 %, der spezifische Druckbedarf um 60%
Nach 30 Minuten Wartezeit und erneuter Messung im Viskosimeter zeigte sich ein weiterer starker Anstieg der rheologischen Daten. Die dynamische Viskosität nahm um 142 %, der spezifische Druckbedarf um 275 % gegenüber den gemittelten Werten der Proben mit Leitungs- bzw. Hilswasser zu. Die Daten sind in Tabelle 4 zusammengefaßt.

Das Sumpfwasser hat eine stark beschleunigende Wirkung auf das Erstarrungsverhalten der Suspensionen, was auf einen hohen Anteil an Chloriden schließen läßt. Besonders Calciumchlorid bewirkt, selbst bei niedrigen Temperaturen, eine starke Beschleunigung des Erstarrungsprozesses.

Der Vergleich der vorliegenden chemischen Analysen von Konrad-Wässern bestätigt diese Vermutung. Das Hilswasser hat eine maximale Calciumionenkonzentration von 3,78 g/l bei einer Chlorionenkonzentration von 94,60 g/l (Analyse Hilswasser, Probe 40012 vom 14.10.1987). Im Sumpfwasser dagegen werden maximale Calciumionenkonzentrationen von 12,91 g/l bei 130,0 g/l Chlorionenkonzentration (Analyse Tropfstelle 660 A Brl. 6/3 vom 17.08.1985) gefunden.

2.5 Wasserbindevermögen von Versatzmischungen

Unter dem Wasserbindevermögen versteht man das Vermögen des Zements Teile des Anmachwassers in den Hydratationsprodukten chemisch zu binden und damit zu einem Bestandteil des Feststoffs zu machen. Darüber hinaus wird Anmachwasser als Porenfüllung in den Zementstein eingelagert, wobei ein Teil dieses Hohlraumwassers adsorptiv an der Oberfläche der Hydratationsprodukte haftet. Es gibt bisher keine zuverlässige Methode das chemisch gebundene Wasser vom Porenwasser zu trennen.

Festgelegt wurde daher, daß das Wasser, was beim Glühen des Zementsteins bei 1000 °C nicht ausgetrieben werden kann, chemisch gebunden ist und damit zum Feststoff gehört. Sein Anteil beträgt ca. 25 Gew.-% bezogen auf das Gewicht des ursprünglichen Zements und ist nur sehr gering von der Zementzusammensetzung abhängig.

Maßgebend für die Verteilung des Anmachwassers im vollständig hydratisierten Zementstein ist der Wasserzementwert (WZW). Bei einem WZW von etwas unter 0,4 reicht bei einer vollständigen Hydratation die Menge des sich gebildeten Zementgels gerade aus, den Platz der ursprünglichen Zementkörner sowie des ursprünglich wassergefüllten Zwischenraums vollständig zu füllen, sodaß keine Kapillarporen verbleiben. Bei einem WZW über 0,4 verbleiben auch bei vollständiger Hydratation noch Teile des ursprünglich mit Wasser gefüllten Zwischenraums als Kapillarporen. Die Untersuchungen an den Versatzmischungen aus der Laborphase 1 haben gezeigt, daß Mischungen aus Konrad-Material, Zement und Anmachwasser mit einem WZW von 2 und einem Wassergehalt von 19 bis 21 Gew.-% hinsichtlich ihrer förderteknisch relevanten Eigenschaften

PREUSSAG AG METALL - BERGBAUBERATUNG

PTB/KONRAD - VOLLVERSATZ VON EINLAGERUNGSKAMMERN

besonders geeignet sind. Aus dem o.g. folgt, daß bei einem WZW von 2 und einem mittleren Wassergehalt von 20 Gew.-% bezogen auf das Gesamtgewicht der Mischung ca. 5 Gew.-% des eingesetzten Wasser chemisch gebunden sind. Der verbleibende Anteil des Anmachwassers von 15 Gew.-% ist z.T. in der Schichtsilikatstruktur der im Konrad-Material vorhandenen Tonminerale physikalisch gebunden oder liegt als Kapillarporenwasser vor.

Um eine Vorstellung über die Größenordnung des freien, bei Umgebungstemperaturen von 35 bis 40 °C austreibbaren Wassers zu bekommen, wurden drei Proben mit einem Wassergehalt von 19 Gew.-% und einem WZW von 2 (100 % Erz, 100 % Nebengestein und eine Mischung von Erz und Nebengestein von 50:50) angesetzt. Vor der weiteren Bearbeitung erfolgte eine 28 Tage dauernde Lagerung bei einer Temperatur von 40 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 95 %. Diese Proben wurden dann sieben Tage bei 38 °C im Trockenschrank offen, sodaß eine Wasserverdunstung möglich war, aufbewahrt und ihre Gewichtsabnahme bestimmt. Die Werte können Tabelle 5 im Anhang (offenes System) entnommen werden.

Die Proben setzten bei 38 °C im offenem System 7,6 Gew.-% bis 8,4 Gew.-% Wasser in Form von Wasserdampf frei.

Bei einer Temperaturerhöhung von 38 °C auf 150 °C wurden in weiteren drei Tagen noch einmal zwischen 7,49 Gew.-% und 7,76 Gew.-% freigesetzt, sodaß letztlich der bei 150 °C austreibbare Wasseranteil zwischen 15,09 und 16,16 Gew.-% liegt.

Die Proben IV und V wurden frisch angesetzt (19 Gew.-% Wasser, WZW=2) und im geschlossenen System sieben Tage bei

38 °C aufbewahrt. Auf diese Weise wurde eine Situation, wie sie sich in-situ beim Verfüllen der Kammern durch Pumpversatz einstellen wird, simuliert.

Eine Wasserabscheidung an der Oberfläche der Proben wurde nicht beobachtet. An den Deckeln der Gefäße schlug sich Wasser (0,32 bzw. 0,39 Gew.-%) in Form von Kondenswasser nieder.

Der bei 150 °C ausgetriebene Wasseranteil im geschlossenen System erhöhte sich auf 0,58 und 0,66 Gew.-%.

Im Labor C wurde an je einer 56-Tage-Probe aus Erz und Nebengestein eine gravimetrische Thermodifferenzanalyse durchgeführt. Die Vortrocknung der Proben erfolgte im Trockenschrank bei 50 °C. Als Referenzmaterial diente nicht bindemittelfestiges Material, das bei 110 °C vortrocknet wurde. Mit der Vortrocknung ist gewährleistet, daß das nicht gebundene Wasser ausgetrieben wurde.

Die vorgetrockneten Proben wurden von 100 °C bis 950 °C mit einem Temperaturgradienten von 10 K/min erhitzt und ihre Gewichtsabnahme registriert. Die, bezogen auf die vortrocknete Probeneinwaage, ausgetriebenen flüchtigen Bestandteile sind im Anhang in Abbildung 1 grafisch dargestellt. Bei den bindemittelfestigten Proben ist gegenüber den Referenzproben bei 200 °C eine deutliche Gewichtsabnahme von 1,69 Gew.-% für Erz und 0,92 Gew.-% für Nebengestein zu verzeichnen. Diese gegenüber dem Referenzmaterial höhere Gewichtsabnahme ist bei der Nebengesteinsprobe bis zu einer Temperatur von 400 °C, bei der Erzprobe bis zu 200 °C zu beobachten. Bei beiden Proben wird dann bis 700 °C praktisch kein Unterschied zwischen Referenzprobe und

bindemittelverfestigter Probe festgestellt. Bei 800 °C liegt die Gewichtsabnahme der Nebengesteinsprobe mit 4,24 Gew.-% etwas unter der des Referenzmaterials. Bei 950 °C ist beim Nebengestein nochmals eine starke Gewichtsabnahme von 19,12 Gew.-% gegenüber der Referenzprobe (14,87 Gew.-%) zu beobachten. Bei der Erzprobe wurde bei 900 °C eine Gewichtsabnahme von 6,24 Gew.-% gegenüber 5,92 Gew.-% beim Referenzmaterial registriert.

Der Gewichtsverlust oberhalb 700 °C ist nicht allein auf das Austreiben von Wasser zurückzuführen, sondern zusätzlich zu einem großen Teil auf die Zersetzung von Calcit und die damit verbundene Abgabe von Kohlendioxid.

Die Versuche haben gezeigt, daß die Versatzmischungen bei Temperaturen um 38 °C (etwa der Gebirgstemperatur) im geschlossenen System, wie es auch letztlich eine versetzte Endlagerkammer darstellt, keine nennenswerte Wasserabscheidung eintritt. Wird ein freier Luftaustausch zugelassen, erfolgt ein Austrocknen der Oberflächenporen. Erst durch Temperaturen deutlich über 100 °C ist es möglich, Wasser und andere flüchtige Bestandteile aus dem bindemittelverfestigten Versatz auszutreiben. Es ist somit ausgeschlossen, daß bei den in-situ herrschenden Bedingungen, Wasser aus dem Versatz entweichen kann.

2.6 Quell- und Schwindverhalten

Unter Schwinden und Quellen versteht man in der Zementindustrie die Volumenänderungen, die durch Veränderung des Feuchtigkeitshaushaltes von Zementstein auftreten. Eine Volumenabnahme bezeichnet man als Schwinden, eine -zunahme als Quellen. Das Quellen von Zementstein tritt ohne vorherige Austrocknung nur bei dauernder Wasserlagerung auf. Das Schwinden erfolgt durch Austrocknung von Zementstein. Bei Wechsellagerung zwischen feucht und trocken klingen die Feuchtigkeitsdehnungen allmählich ab, bis Schwinden und Quellen näherungsweise gleich groß (reversibel) sind.

Das Quell- bzw. Schwindverhalten der bindemittelverfestigten Versatzproben aus Konrad-Erz, Nebengestein und Mischungen aus beiden wurde je Probe an jeweils drei Prüfkörpern mit Abmessungen von 40·40·160 mm in Anlehnung an die DIN 52450 ermittelt und in Tabelle 6 im Anhang zusammengefaßt. Die Lagerung der Proben erfolgte wie in 2,1 beschrieben. Als Ausgangsmaß wurde bei den in Labor B untersuchten Proben die Länge im Alter von drei Tagen, bei den in Labor C untersuchten im Alter von einem Tag zugrunde gelegt. Die Messungen erfolgten bei 20 °C.

Die Untersuchungsergebnisse des Labors B zeigen, daß bei allen Proben ein Quellen auftritt ohne jedoch eine eindeutige Abhängigkeit zwischen Quellmaß und Mischungsverhältnis Erz zu Nebengestein erkennen zu lassen.

Bei den Untersuchungen des Labors C wird eine Steigerung des Quellmaßes mit steigendem Nebengesteinsanteil bei den 7-Tage-Proben von 0,9 mm/m auf 0,18 mm/m und den 28-Tage-Proben von 0,14 mm/m auf 0,24 mm/m beobachtet. Die Tendenz

bleibt auch bei den 56-Tage-Proben erhalten.

Sämtliche Rezepturen ergeben einen formstabilen bis sehr schwach quellenden Versatz. Ribbildung durch Schwind- oder Quellverhalten beim Aushärten der Mischungen wurde nicht beobachtet.

2.7 Hydratationswärmeentwicklung

Im Laborbericht 1 (Fördertechnik) wurde auf das Erstarrungsverhalten von Versatzmischungen aus Konrad-Haufwerk eingegangen, ohne jedoch die beim Abbinden der Mischungen entstehende Hydratationswärme zu bestimmen.

Bei Zementen wird die Hydratationswärmeleistung nach DIN 1164 Teil 8 als Lösungswärme in einem Lösungskalorimeter bestimmt. Es ist ein Vergleich der Lösungswärme des unhydratisierten Zements und einer Zementsteinprobe mit einem WZW von 0,4, die bis zur Prüfung bei 20°C gelagert wird. Hierbei ergibt sich für einen Zement Z 35 L, wie er bei den Versatzmischungen eingesetzt wird, eine Hydratationswärme von 60 J/g bis 175 J/g Zement nach einem Tag, 125 J/g bis 250 J/g nach drei Tagen und 150 J/g bis 300 J/g nach 7 Tagen.

Bei den Versatzmischungen aus Konrad-Material haben sich Mischungen mit einem Zementanteil von ca. 10 Gew.-% und einem Wassergehalt von etwa 20 Gew.-% aus fördertechnischer Sicht als sehr geeignet herausgestellt. Für solche Mischungen läßt sich die Hydratationswärme nicht indirekt wie nach o.g. Methode bestimmen, sondern sie muß im Kalorimeter direkt ermittelt werden.

Hierzu wurden 621 g Versatzmischung aus Erz und Nebengestein im Mischungsverhältnis von 80:20 mit einem Wassergehalt von 19 Gew.-% und einem Zementgehalt von 9,5 Gew.-% (WZW=2) hergestellt und die Wassertemperatur (Wassermenge: 313 g) im Kalorimeter bei 37 °C kontinuierlich über einen Zeitraum von ca. 7 Tagen gemessen und registriert.

Der Temperaturverlauf und die Summenkurve der massenbezogenen Wärmemenge über die Zeit sind im Anhang in Abbildung 2 dargestellt. Die Wassertemperatur kühlte beim Einfüllen ins Kalorimeter auf 35,8 °C ab. Sie wurde auf 37 °C erhöht bevor die Messauswertung begann. Abbildung 3 zeigt den Verlauf der massenbezogenen Wärmemenge mit positivem und negativem Ast der entsprechenden Summenkurve.

Es sind zwei Wärmeentwicklungsphasen der Versatzmischung zu verzeichnen. Die erste beginnt direkt nach dem Anmischen und dauert ca. 35 Stunden. Die maximale Wassertemperatur betrug 40,05 °C. In dieser Zeit ist eine Wärmemenge von 8,1 J/g Versatz abgegeben worden. In der nachfolgenden ca. 67 Stunden dauernden Ruhephase kühlt sich die Wassertemperatur um 2,1 K auf 37,94 °C durch Verluste des Dewargefäßes ab. Es folgt, analog zur zweiten Hydratationsstufe von Zementen, eine zweite Phase der Wärmeentwicklung (102 Stunden nach dem Anmischen) von 15,6 Stunden Dauer. Dabei wird eine Maximaltemperatur des Wassers von 38,38 °C erreicht und eine Wärmemenge von 0,9 J/g erzeugt. Nach 117,6 Stunden ist die Wärmeentwicklung der Mischung abgeschlossen. Das Wasser kühlt sich bis zum Abbruch des Versuches nach 168,7 Stunden um 1,3 K auf Umgebungstemperatur ab.

Während des 168,7 Stunden (ca. 7 Tage) dauernden Versuches wurde eine Wärmemenge von ca. 9 J/g Versatz freigesetzt. Aus 1 m³ Versatz mit einer Rohdichte von 2,2 t/m³ ergibt sich somit eine erzeugte Wärmemenge von 19,8 MJ.

2.8 Wärmekapazität des ausgehärteten Konrad-Versatzmaterials

Um die Temperatur eines Körpers zu erhöhen, muß ihm eine gewisse Wärmemenge zugeführt werden, die proportional zur Masse und zur Temperaturerhöhung des Stoffes ist. Der Proportionalitätsfaktor ist die spezifische Wärmekapazität. Sie ist nicht konstant, sondern temperaturabhängig und wird üblicherweise für 20 °C angegeben.

An zwei 28 Tage alten Versatzmischungen aus Erz bzw. Nebengestein mit jeweils 19 Gew.-% Wasser und einem WZW von 2 wurde die spezifische Wärmekapazität ermittelt. Hierzu wurden die Proben im Mörser zerkleinert und jeweils vier 95 g-Proben im Trockenschrank auf 148 °C (Maximaltemperatur) erwärmt. Das Kalorimeter (Wärmewert 112,18 J/K) war mit 500 ml Wasser gefüllt.

Für die Versatzmischung aus Erz ergaben die Messungen bei einer Temperatur von 20 °C eine mittlere spezifische Wärmekapazität von $0,907 \pm 0,03$ kJ/kg·K. Für das Nebengestein ergaben die Messungen $0,778 \pm 0,02$ kJ/kg·K.

2.9 Biegezugfestigkeit

Die Probekörper für die Untersuchungen der Druck- und Biegezugfestigkeiten hatten in Anlehnung an DIN 1164 Teil 7 Abmessungen von 40·40·160 mm.

Die Bestimmung der Biegezugfestigkeit nach 7, 28 und 56 Tagen Probenalter erfolgte in Anlehnung an die DIN 1164 Teil 7. Mit Salzwasser wurden je Mischung 3 Proben hergestellt und geprüft. Die mittleren Biegezugfestigkeiten sind im Anhang in Tabelle 7 zusammengefaßt.

Die Meßergebnisse beider Laboratorien zeigen, daß die Biegezugfestigkeiten nicht vom Mischungsverhältnis zwischen Erz und Nebengestein abhängen. Die gemittelten Werte der Labors ergeben für sieben Tage alte Mischungen $1,87 \pm 0,12$ N/mm², nach 28 Tagen beträgt die Biegezugfestigkeit $2,74 \pm 0,27$ N/mm² und nach 56 Tagen $2,82 \pm 0,43$ N/mm².

Zusätzlich mit Leitungswasser angesetzte Proben ergeben für die Biegezugfestigkeit geringfügig höhere Werte als bei Salzwassermischungen. Die 7-Tage-Biegezugfestigkeit einer Erzprobe beträgt z.B. $2,1$ N/mm².

2.10 Druckfestigkeit

Die Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit erfolgte in Anlehnung an die DIN 1164 Teil 7. Verwendung finden die Proben, an denen zuvor die Biegezugfestigkeit bestimmt wurde. Die im Anhang in Tabelle 8 zusammengefaßten Ergebnisse sind die Mittelwerte von jeweils sechs Einzelmessungen.

Die 56-Tage-Druckfestigkeit der Probe 5 erfolgte im Labor B aus organisatorischen Gründen nach 50 Tagen, die der Probe 6 nach 49 Tagen und die der Probe 7 bereits nach 45 Tagen. Die Werte dieser Proben sind nicht in der Mittelwertberechnung berücksichtigt.

Die im Labor C ermittelten Druckfestigkeiten erhöhen sich mit steigendem Nebengesteinsanteil bei den 28-Tage-Proben von 8,4 N/mm² auf 11 N/mm², bei den 56-Tage-Proben von 10,7 N/mm² auf 13,7 N/mm² an. Bei den 7-Tage-Proben tritt eine geringfügige Druckfestigkeitsabnahme auf, die sich aber offensichtlich bei weiterem Aushärten aufhebt. Im Labor B konnte kein Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit und Nebengesteinsanteil erkannt werden.

Zusätzlich mit Leitungswasser angesetzte Proben ergeben für die Druckfestigkeit geringfügig höhere Werte als bei Salzwassermischungen. Die 7-Tage-Druckfestigkeit einer Erzprobe beträgt z.B. 9,0 N/mm².

2.11 Porosität

Die Porosität der Mischungen wurde mit der Quecksilber-Druckporosimeter-Methode im Labor B bestimmt. Mit diesem Verfahren können Poren mit einem mittleren Porenradius ab 0,005 µm erfaßt werden.

Die Porosität wurde an getrockneten Proben bei 45 °C ermittelt. Ohne Verdichtung der fertigen Mischungen ist eine Durchschnittsporosität von 29,77 % ermittelt worden. Die Proben 1 und 4 wurden im feuchten Zustand gemessen. Hierbei

ging die Gesamtporosität deutlich auf 7,55 % bzw. 19,34 % zurück.

Die durchschnittlichen Porenradien betragen bei den 7-Tage-Proben 0,019 μm (Bandbreite 0,010 μm - 0,025 μm) und bei den 28-Tage-Proben 0,026 μm (Bandbreite 0,020 μm - 0,050 μm). Die Daten sind im Einzelnen der Tabelle 9 im Anhang zu entnehmen.

2.12 Gaspermeabilität

Die Versatzmischungen für die Untersuchungen der Gaspermeabilität wurden im Labor B in PVC-Rohre mit einem Durchmesser von 80 mm und einer Länge von 110 mm gegossen. Im Labor C wurden Proben mit den Abmessungen 150•150•50 mm hergestellt, aus denen nach 2 Tagen vier Proben herausgebohrt wurden. Ihr Durchmesser betrug 50 mm.

Es wurden wie im Kapitel 2.1 beschrieben je zwei Probekörper der jeweiligen Mischungsverhältnisse hergestellt und in Anlehnung an die DIN 51085 Blatt 1 auf Gasdurchlässigkeit geprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 im Anhang zusammengefaßt.

Beide Laboratorien stellten fest, daß an ungetrockneten Proben keinerlei Gasdurchlässigkeit messbar ist. Um überhaupt messbare Werte zu bekommen wurde im Labor B bei 60 °C, im Labor C bei 50 °C getrocknet.

Das Labor B konnte bei den 7- und 28-Tage-Proben bei Gasdifferenzdrücken von 300 mbar keine Gasdurchlässigkeit feststellen. Erst bei Gasdifferenzdrücken von 2000 mbar ergab sich eine meßbare Gaspermeabilität von 0,005 nPm bis 0,687 nPm (1 nPm = 0,102 Darcy).

Die Meßergebnisse des Labors C weisen einen deutlichen Trend mit steigendem Nebengesteinsanteil zu geringerer Gaspermeabilität von 0,115 nPm bis 0,005 nPm auf.

3. Zusammenfassung

Die Preussag AG Metall wurde vom BfS beauftragt, in einer Konzept- und Machbarkeitsstudie den von ihr auf der Grundlage der Dickstoffförderung entwickelten Pumpversatz an die spezifischen Erfordernisse des geplanten Endlagers Konrad anzupassen und in Laboruntersuchungen geeignete Pumpversatzrezepturen zu entwickeln.

Es wurde Konrad-Erz und Konrad-Nebengestein für die Untersuchungen gebrochen, klassiert und geteilt. In einer Laborphase 1 (Fördertechnik) wurden vom ungebrochenen Material Korngrößenverteilungen und Restfeuchten ermittelt. Vom gebrochenen und klassierten Material wurden Dichten und Korngrößenverteilungen bestimmt. Am Feinkorn (Körnung kleiner 250 μm) des aufbereiteten Haufwerks wurden rheologische Untersuchungen durchgeführt. Vom gebrochenen Konrad-Material (Körnung kleiner 5 mm) wurden Pumpversatzmischungen hergestellt und hinsichtlich Pumpbarkeit, Sedimentationsstabilität, Wasserhaltevermögen und Fließfähigkeit qualitativ begutachtet. Das Erstarrungsverhalten von Pumpversatzmischungen wurde untersucht. Die

Ergebnisse aus der Laborphase 1 (Fördertechnik) sind im Bericht PM/BBB vom 26.07.1989 dargelegt.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde in einer Laborphase 2 (Versatzeigenschaften) gezeigt, daß die aus förder-technischer Sicht für einen Pumpversatz gut geeigneten Versatzmischungen in ihren Eigenschaften während und nach dem Abbinden den Qualitätsanforderungen, die an einen bindemittelverfestigten Vollversatz auf Konrad gestellt werden, entsprechen. Untersucht wurden Versatzmischungen unter Verwendung von Erz, Nebengestein und Mischungen aus beiden mit einem Wassergehalt von 19 Gew.-% und einem Wasser-Zement-Wert von 2. An den Frischmischungen wurde die Hydratationswärmeentwicklung, das Wasserbindevermögen und die Konsistenz untersucht. An den abgebundenen Versatzmischungen wurden die Wärmekapazität und die Festigkeiten nach 7, 28 und 56 Tagen bestimmt und Untersuchungen über die Gaspermeabilität, die Porosität und die Formstabilität durchgeführt. Als Anmachwasser wurde bei allen Untersuchungen Salzwasser der Grube Konrad verwendet; lediglich die Festigkeitsuntersuchungen wurden zusätzlich an einer Erz- und einer Nebengesteinsmischung mit Leitungswasser durchgeführt.

Die Wärmemenge, die bei der Hydratation der Versatzmischungen frei wird, wurde über sieben Tage gemessen. Sie liegt auf 1 m³ Versatz bezogen bei 20 MJ.

Die Untersuchungen zum Wasserbindevermögen der Versatzmischungen über einen Zeitraum von sieben Tagen zeigten, daß in einem geschlossenen System unter in-situ-Bedingungen keine nennenswerte Wasserabscheidung zu verzeichnen ist.

PREUSSAG AG METALL - BERGBAUBERATUNG

PTB/KONRAD - VOLLVERSATZ VON EINLAGERUNGSKAMMERN

Die Wärmekapazität der Versatzproben beträgt zwischen 0,8 kJ/kg·K und 0,9 kJ/kg·K.

Die Festigkeitsuntersuchungen an den verfestigten Versatzmischungen zeigten bei der Biegezugfestigkeit keinen Einfluß des Mischungsverhältnisses zwischen Erz und Nebengestein. Die mittlere Biegezugfestigkeit beträgt nach 56 Tagen etwa 3 N/mm². Die einaxiale Druckfestigkeit nimmt mit steigendem Nebengesteinsanteil zu. Sie liegt je nach Nebengesteinsanteil zwischen 11 und 14 N/mm².

Das Versatzmaterial aller Mischungen weist ein geringfügiges Quellverhalten von max. 0,24 mm/m auf. Der Versatz kann als formstabil angesehen werden.

Die Gasdurchlässigkeit aller verfestigten Versatzmischungen ist sehr gering. Die Gaspermeabilität bewegt sich bei 56-Tage-Proben zwischen 0,005 nPm und 0,69 nPm (= $5,5 \cdot 10^{-4}$ Darcy und $7 \cdot 10^{-2}$ Darcy) bei einem erhöhten Differenzdruck von 2000 mbar.

Die Porosität aller Versatzmischungen liegt bei etwa 30 Vol.-%, wobei der mittlere Porenradius mit 0,02 µm bis 0,05 µm sehr klein ist. Die Werte sind unabhängig vom Alter und dem Mischungsverhältnis zwischen Erz und Nebengestein

Das Konrad-Erz und -Nebengestein wurde auf seine mineralogische Zusammensetzung hin untersucht. Das Erz besteht zur Hälfte aus Limonit, gut ein Viertel sind Karbonate; der Rest setzt sich aus Quarz, Tonen und Gips zusammen. Die Hauptkomponente des Nebengesteins sind Karbonate, die etwa drei Viertel ausmachen; ein Viertel sind Quarz, Tone, Gips und Limonit.

In Ergänzung der Laborphase 1 (Fördertechnik) wurde der Einfluß des Anmachwassers auf die Rheologie einer Erz-Zement-Suspension untersucht. Eine Suspension mit Leitungswasser diente als Referenzmaterial. Untersucht wurde eine Mischung, die mit Konrad-Hilswasser angesetzt war und eine, deren Anmachwasser aus stark salzhaltigem Konrad-Sumpfwasser bestand.

Der Einsatz des Hilswassers zeigte keinen Einfluß auf die rheologischen Eigenschaften der Suspension. Die Verwendung des Sumpfwassers ergab einen deutlichen Anstieg aller rheologischen Größen gegenüber dem Referenzmaterial.

PREUSSAG AG METALL - BERGBAUBERATUNG

PTB/KONRAD - VOLLVERSATZ VON EINLAGERUNGSKAMMERN

Probe	Erz:Nebeng. [-]	Erz [Gew.-%]	Nebeng. [Gew.-%]	H2O [Gew.-%]	Zement [Gew.-%]	Verzögerer [Gew.-%]
1	100:0	71.50	0.00	18.81	9.50	0.19
2	80:20	57.20	14.30	18.81	9.50	0.19
3	60:40	42.90	28.60	18.81	9.50	0.19
4	50:50	35.75	35.75	18.81	9.50	0.19
5	40:60	28.60	42.90	18.81	9.50	0.19
6	20:80	14.30	57.20	18.81	9.50	0.19
7	0:100	0.00	71.50	18.81	9.50	0.19

Tabelle 1: Rezepturen und Mischungsverhältnisse der Probekörper

Probe	Karbonate	Quarz	Gips	Tone	Fe-Verb.	Sonstiges	Labor
Erz	26.0%	10.0%	0.6%	10.0%	48.0%	5.40%	A
Erz	-	-	-	-	+	-	C
Nebeng.	73.0%	5.0%	1.6%	7.0%	7.0%	6.4%	A
Nebeng.	+++	---	Spuren	---	---	-	C

Tabelle 2: Mineralogische Zusammensetzung von Konrad-Erz und Nebengestein

Probe	Erz:Nebeng.	Ausbreitmaß DIN 1048 [cm]	Ausbreitmaß DIN 18555 [cm]
1	100:0	55.00	21.00
2	80:20	56.00	-
3	60:40	56.50	-
4	50:50	60.50	21.00
5	40:60	57.50	-
6	20:80	57.50	-
7	0:100	60.00	20.50
Mittelwert		57.57	20.83
rel.Stand.Abw.		± 0.03	± 0.01

Tabelle 3: Ausbreitmaß bei verschiedenen Mischungsverhältnissen

PTB/KONRAD - VOLLVERSATZ VON EINLAGERUNGSKAMMERN

Probe	Anmachwasser	plast. Viskos. [mPa s]	dynam. Viskos. [mPa s]	Fließgrenze [Pa]	spezif. Druckbed. [bar/100m]
08/05	Leitungswasser	45.71	1240	31.14	1.08
10/05	Hilswasser	50.57	1276	30.70	1.11
12/05	Sumpfwasser	54.55	1943	51.82	1.74
14/05	Sumpfwasser (½h Wartezeit)	116.48	4680	128.69	4.11

Tabelle 4: Rheologische Daten von Erz-Zement-Suspensionen mit unterschiedlichen Wässern

Probe	Erz:Nebeng.	Temp. [°C]	Dauer [d]	System	Gewichtsabnahme [%]
I	100:0	38	7	offen	8.42
II	50:50	38	7	offen	8.39
III	0:100	38	7	offen	7.60
I	100:0	150	3	offen	10.04
II	50:50	150	3	offen	15.81
III	0:100	150	3	offen	15.09
IV	60:40	38	7	geschl.	0.32
V	80:20	38	7	geschl.	0.39
IV	60:40	150	3	geschl.	0.58
V	80:20	150	3	geschl.	0.66

Tabelle 5: Gewichtsverlust beim Trocknen von Mischungen im geschlossenen und offenen System

PREUSSAG AG METALL - BERGBAUBERATUNG

PTB/KONRAD - VOLLVERSATZ VON EINLAGERUNGSKAMMERN

Probe [Nr.]	Erz:Nebeng.	L A B O R B			L A B O R C		
		Quellmaß [mm/m]			Quellmaß [mm/m]		
1	100:0	0,20	0,36	-	0.09	0.14	0.13
2	80:20	0,16	0,19	-	-	-	-
3	60:40	0,03	0,24	-	-	-	-
4	50:50	0,03	0,03	-	0.13	0.20	0.18
5	40:60	0,02	0,18	-	-	-	-
6	20:80	0,18	0,22	-	-	-	-
7	0:100	0,03	0,04	-	0.18	0.24	0.23
Probenalter [d]		7	28	56	7	28	56

Tabelle 6 : Quellverhalten von Versatz aus verschiedenen Mischungsverhältnissen

Probe	Erz:Nebeng.	L A B O R B			L A B O R C		
		Biegezugfestigkeit [N/mm ²]			Biegezugfestigkeit [N/mm ²]		
1	100:0	1.90	3.00	2.80	1.80	2.40	3.30
2	80:20	1.60	2.70	2.20	-	-	-
3	60:40	1.90	2.70	2.30	-	-	-
4	50:50	1.90	2.70	2.70	1.90	2.80	3.10
5	40:60	1.90	2.60	2.90	-	-	-
6	20:80	1.90	2.50	2.60	-	-	-
7	0:100	1.80	2.60	2.60	2.10	3.40	3.70
Probenalter [d]		7	28	56	7	28	56
Mittelwert		1.84	2.69	2.59	1.93	2.87	3.37
rel.Std.Abw.		± 0.06	± 0.05	± 0.09	± 0.06	± 0.14	± 0.07

Tabelle 7 : Biegezugfestigkeit von Versatz aus verschiedenen Mischungsverhältnissen

PREUSSAG AG METALL - BERGBAUBERATUNG

PTB/KONRAD - VOLLVERSATZ VON EINLAGERUNGSKAMMERN

Probe	Erz:Nebeng.	LABOR B			LABOR C		
		Druckfestigkeit [N/mm ²]			Druckfestigkeit [N/mm ²]		
1	100:0	5.90	9.40	10.80	7.50	8.40	10.70
2	80:20	5.70	9.40	11.30	-	-	-
3	60:40	5.30	7.10	10.40	-	-	-
4	50:50	5.80	10.00	10.90	7.30	9.40	11.30
5	40:60	5.50	8.00	(10.7)	-	-	-
6	20:80	4.70	7.50	(8.90)	-	-	-
7	0:100	4.90	7.20	(8.90)	7.20	11.00	13.70
Probenalter [d]		7	28	56	7	28	56
Mittelwert		5.40	8.37	10.85	7.33	9.60	11.90
rel.Std.Abw.		± 0.08	± 0.13	± 0.03	± 0.02	± 0.11	± 0.11

Tabelle 8 : Druckfestigkeit von Versatz aus verschiedenen Mischungsverhältnissen

Probe	Erz:Nebeng.	Gesamtporosität [%]			mittlerer Porenradius [µm]		
		1	100:0	25.21	7.55 *	-	0.016
2	80:20	28.24	31.49	-	0.010	0.020	-
3	60:40	29.24	28.27	-	0.025	0.020	-
4	50:50	36.39	19.34 *	-	0.025	0.020	-
5	40:60	-	29.24	-	-	0.025	-
6	20:80	-	30.70	-	-	0.032	-
7	0:100	-	29.15	-	-	0.032	-
Probenalter [d]		7	28	56	7	28	56
Mittelwert		29.77	29.77		0.019	0.026	
rel. Stand. Abw.		± 0.14	± 0.14		± 0.33	± 0.21	

Tabelle 9: Porosität und Porenradien von Versatz aus verschiedenen Mischungsverhältnissen

* Probe wurde in feuchtem Zustand gemessen und bei der Mittelwertberechnung nicht berücksichtigt.

PREUSSAG AG METALL - BERGBAUBERATUNG

PTB/KONRAD - VOLLVERSATZ VON EINLAGERUNGSKAMMERN

Probe	Erz:Nebeng.	<u>L A B O R B</u>			<u>L A B O R C</u>		
		Gaspermeabilität [nPm]			Gaspermeabilität [nPm]		
1	100:0	0.000	0.000	0.005	-	0.080	0.115
2	80:20	0.000	0.000	0.091	-	-	-
3	60:40	0.000	0.000	0.687	-	-	-
4	50:50	-	0.000	0.061	-	0.045	0.015
5	40:60	-	0.000	0.225	-	-	-
6	20:80	-	0.000	0.294	-	-	-
7	0:100	-	0.000	0.007	-	0.010	0.005
Probenalter [d]		7	28	56	7	28	56

Tabelle 10 : Gaspermeabilität von Versatz aus verschiedenen Mischungsverhältnissen

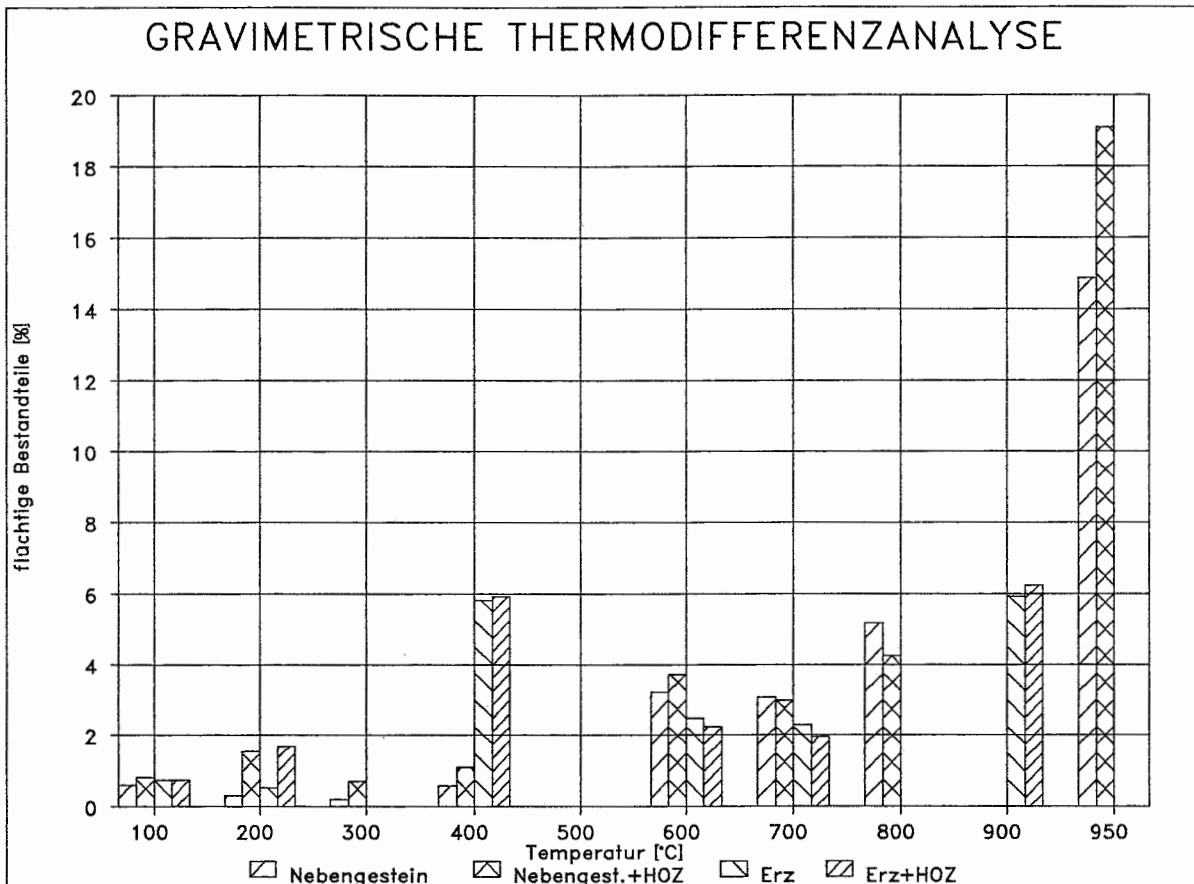


Abbildung 1 Austreibbare flüchtige Bestandteile aus Versatzgutmischungen

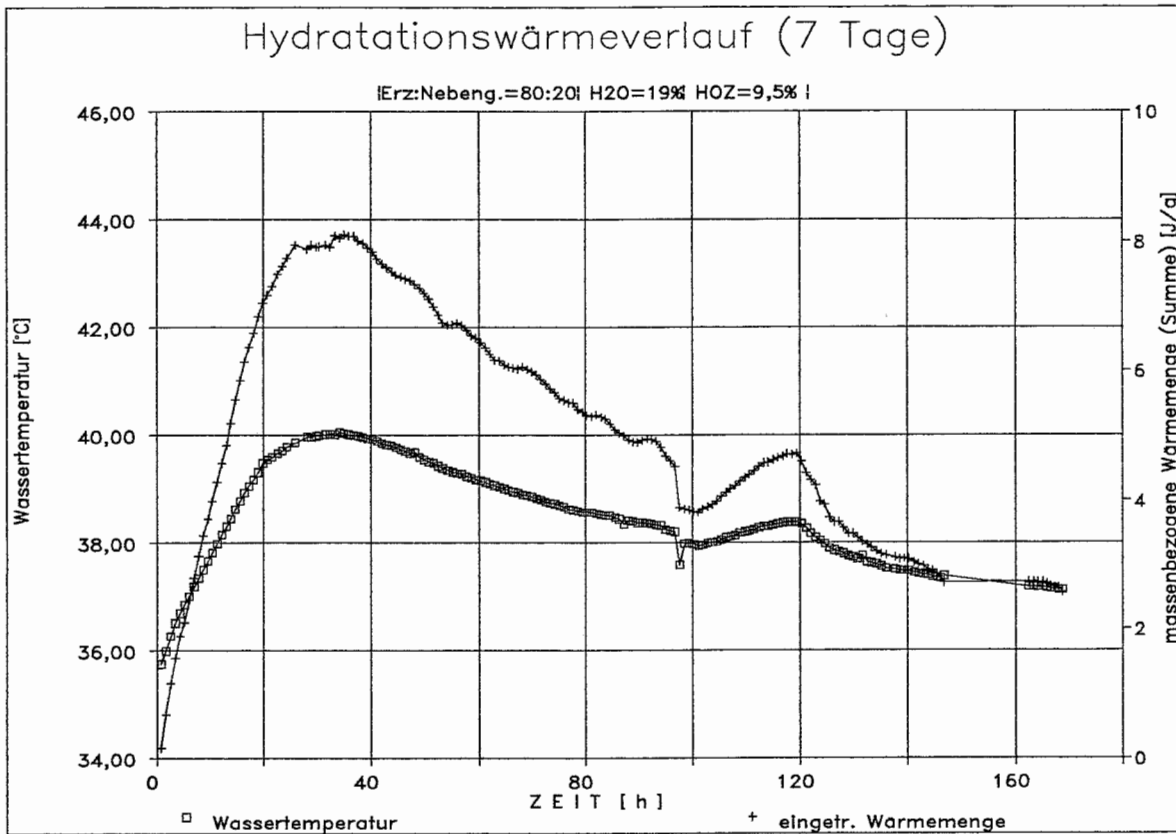


Abbildung 2 Temperaturverlauf und Summenkurve der massenbezogenen Wärmemenge einer über 7 Tage abbindenden Versatzgutmischung

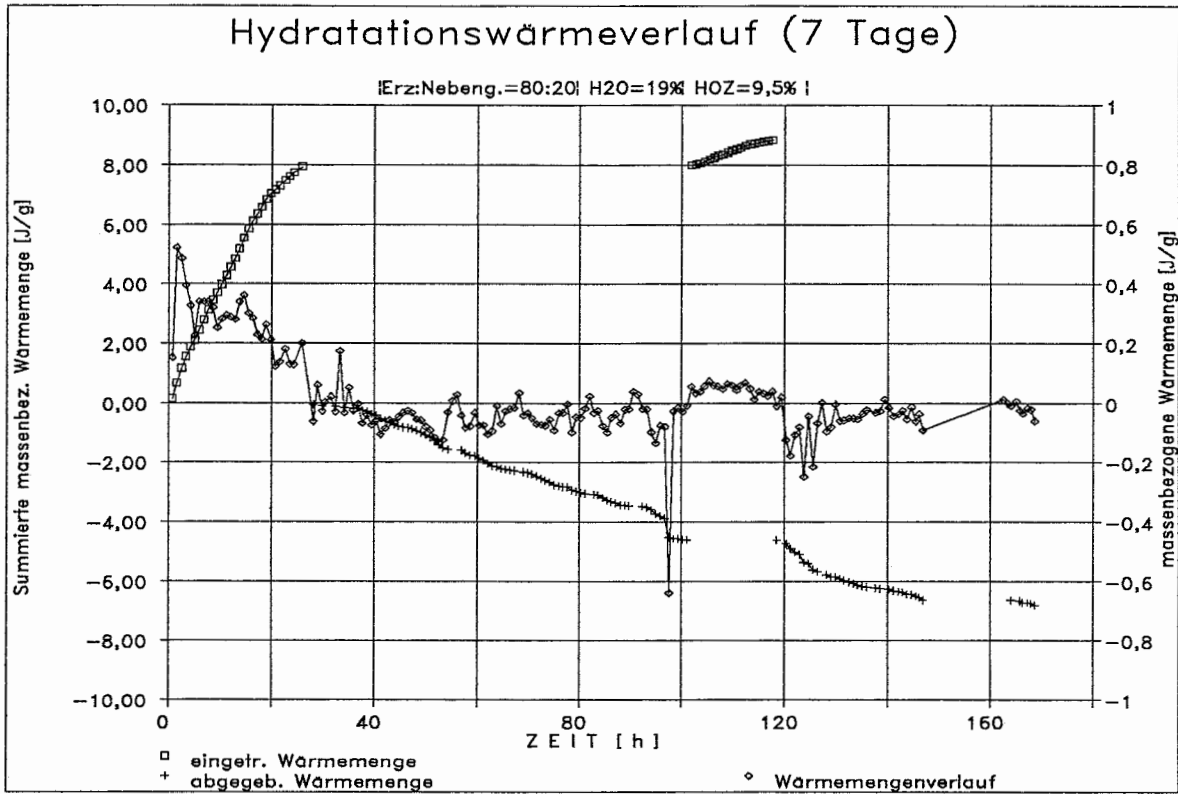


Abbildung 3 Massenbezogener Wärmemengenverlauf mit positiver und negativer Summenkurve einer über 7 Tage abbindenden Versatzgutmischung